CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL:

A CAPACITAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva

Ciência e Tecnologia no Brasil: a Capacitação Brasileira para a Pesquisa Científica e Tecnológica

Volume 3

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
EDITORA

ISBN 85-225-0206-4

Direitos desta edição reservados à Fundação Getulio Vargas
Praia de Botafogo, 190 — 22253-900
CP 62.591 — CEP 22252-970
Rio de Janeiro, RJ — Brasil

Documentos elaborados para o estudo de ciência política realizado pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas, para o Ministério de Ciência e Tecnologia, no âmbito do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT II). As opiniões expressas nestes artigos são de exclusiva responsabilidade dos autores.

1ª edição — 1996

Coordenador do projeto: Simon Schwartzman

Edição do texto: Lucia Klein

Copidesque: Maria Isabel Penna Buarque de Almeida

Editoração eletrônica: Denilza da Silva Oliveira, Eliane da Silva Torres, Jayr Ferreira Vaz e Marilza Azevedo Barboza

Revisão: Aleidis de Beltran, Marco Antonio Corrêa e Fatima Caroni

Produção gráfica: Helio Lourenço Netto

Ciência e tecnologia no Brasil: a capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica, v. 3 / Simon Schwartzman (coord.). – Rio de Janeiro: Editora Fundação Getulio Vargas, 1996.
420p.

V.1 publicado em inglês sob o título: Science and technology in Brazil: a new policy for a global world.

1. Ciência e tecnologia — Brasil. 2. Ciência e estado — Brasil. 3. Tecnologia e estado — Brasil. I. Schwartzman, Simon, 1939- I. Fundação Getulio Vargas.

CDD – 607.281

Sumário

Apresentação *VII*

A capacitação brasileira para a pesquisa,
Eduardo M. Krieger e Fernando Galembeck *1*

Biotecnologia,
Antônio Paes de Carvalho *19*

Botânica, ecologia, genética e zoologia,
Sônia M. C. Dietrich *73*

Avaliação das ciências sociais,
Fábio Wanderley Reis *93*

Computação,
Carlos J. P. de Lucena *123*

Engenharia,
Sandoval Carneiro Jr. *149*

Física,
Sérgio M. Rezende *177*

Physiological sciences (fisiologia),
Antonio C. Paiva *215*

Geociências,
Umberto G. Cordani *239*

Inteligência artificial,
Walzi C. Sampaio da Silva *263*

Pesquisa agropecuária,
João Lúcio Azevedo *287*

Pesquisa e tecnologia militar,
Geraldo L. Cavagnari Filho *321*

Química,
José M. Riveros *359*

Saúde,
Oswaldo Luiz Ramos *389*

Engenharia

*Sandoval Carneiro Jr.**

1. Introdução

Este trabalho tem por objetivo analisar o estado atual do ensino de pós-graduação e da pesquisa em engenharia no Brasil, enfocando fundamentalmente os aspectos relativos ao desenvolvimento científico e tecnológico da área. O estudo procura identificar, de um lado, a existência de eventuais lacunas em subáreas que devam ser objeto de ações específicas por parte dos setores responsáveis, e, de outro, as subáreas em que se logrou estabelecer competências expressivas no país.

O estudo foi organizado de forma a analisar detalhadamente as chamadas grandes áreas de habilitação das engenharias, de acordo com a concepção adotada na Resolução nº 48/76 do Conselho Federal de Educação (CFE): engenharias química, elétrica, civil, mecânica, metalúrgica e de minas. Diversas outras subáreas são analisadas em menor detalhe, enquanto outras, como as engenharias de computação, agrícola e de alimentos não foram incluídas.

Inicialmente, é apresentado um breve resumo sobre a evolução e a situação do ensino de graduação em engenharia e sobre sua posição em relação às demais áreas do conhecimento no país. Segue-se um estudo sobre a pós-graduação e a pesquisa, passando-se, então, a uma análise qualitativa e quantitativa das subáreas selecionadas, baseada em documentos elaborados pelos comitês assessores do CNPq e por consultores da Capes além de outros referidos na bibliografia.

O autor gostaria de registrar a colaboração de diversos colegas que contribuíram com informações, críticas e sugestões, nas diversas fases de elaboração deste trabalho: Alberto Claudio Habert (engenharia química), Luiz Pereira Calôba e Edson Hirokazu Watanabe (engenharia elétrica), Flávio Nobre (engenharia biomédica), Paulo Alcântara Gomes e Alberto Sayão (engenharia civil), Antonio Mac-Dowell de Figueiredo e Nisio Brum (engenharia mecânica), Fernando Luiz Bastian e Luís Henrique de Almeida (engenharia metalúrgica), Ricardo Tadeu Lopes (engenharia nuclear). Fernando Espagnolo e Magda Maria Augusta, da Capes, não mediram esforços para fornecer os dados da maior parte

---

* Professor titular, Coppe e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

das tabelas. As eventuais falhas e omissões são, no entanto, da exclusiva responsabilidade do autor.

2. A graduação em engenharia no Brasil

Evolução histórica

O trabalho da Corte de Portugal para o Brasil em 1808 propiciou o verdadeiro início da vida cultural e científica no país, através da criação ou transferência de diversas instituições relacionadas com a produção e transmissão do saber. Na Real Academia Militar, fundada em 1810, iniciaram-se os primeiros cursos destinados à formação de artilheiros, engenheiros, geógrafos e topógrafos (Carvalho, 1972:137-47). O ensino de engenharia no Brasil remonta, portanto, a 1810 e sua evolução foi bastante lenta e gradual. Em 1874, foi fundada a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, posteriormente incorporada à Universidade do Brasil e, atualmente, Escola de Engenharia da UFRJ.

A Escola de Minas de Ouro Preto foi fundada em 1875 e, junto com a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, estimulou o desenvolvimento de pesquisas geológicas e mineralógicas de qualidade, além da formação de geólogos e engenheiros civis com sólida base técnica e científica. A este esforço viria juntar-se a Escola Politécnica de São Paulo, criada em 1894. De acordo com Carvalho (1972:137-47), durante a Monarquia e início da República, o ensino das ciências exatas e naturais tinha lugar na Escola Militar, na Escola Naval e nas escolas de engenharia e de minas e, ainda, nas de medicina. No período republicano, foram implantados diversos laboratórios de serviço no campo da metrologia, astronomia, geologia e mineralogia, além de institutos de pesquisa abrangendo diversos setores do conhecimento como o estudo das moléstias tropicais e epidêmicas, a biologia, a biofísica, a zoologia, a agronomia etc. Muitas dessas instituições foram criadas graças ao esforço e abnegação de algumas pessoas, e várias foram mantidas devido ao idealismo e perserverança de professores e dirigentes. É o caso, por exemplo, da Escola Superior de Agricultura e Veterinária de Viçosa (fundada em 1927), que, na década de 40, já enviava jovens professores para fazer mestrado e doutorado no exterior.

Somente em 1934 é que foi criada a Universidade de São Paulo, a primeira do Brasil, seguida, em 1937, da Universidade do Brasil, hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Vários outros centros universitários foram sendo criados nos demais estados da federação, freqüentemente através da reunião de escolas superiores isoladas, gerando problemas que perduram até hoje (Kelly, 1972:151-67).

Nas últimas décadas, merece destaque a criação de duas instituições de ensino superior: o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em 1950, e a Universidade de Campinas (Unicamp), em 1967. Ambas contribuíram de forma significativa para a melhoria do ensino de graduação e para a implantação da pós-graduação em engenharia, além de criarem condições para o desenvolvimento de indústrias locais com tecnologia de ponta e de institutos de pesquisas tecnológicas.

A formação de engenheiros

De acordo com Danna et alii (1991), havia no Brasil, em 1991, cerca de 300 mil engenheiros em atividade, para uma população economicamente ativa (PEA) de cerca de 60 milhões de pessoas, em uma proporção de cinco engenheiros para cada 1 mil pessoas da PEA. O Japão e os Estados Unidos, com 25 engenheiros para cada 1 mil trabalhadores, a Inglaterra, com 23 e a Alemanha, com 22, têm um índice mais de *quatro* vezes superior ao do Brasil.

Uma comparação com as demais áreas do conhecimento sugere que este é um quadro difícil de ser alterado. Dados de 1988 do MEC, que compõem a tabela 1, indicam que apenas 9,7% de todos os alunos de graduação estavam matriculados em cursos de engenharia ou tecnologia, comparados a, por exemplo, mais de 38% nas áreas de ciências sociais aplicadas, o que dá uma relação de *um* engenheiro para quase *quatro* cientistas sociais. Nos Estados Unidos, ao contrário, formaram-se, em 1988, 70.406 engenheiros e 69.861 cientistas sociais, configurando uma relação de praticamente *um* para *um*. Quase *metade* dos engenheiros formados no país opta pela habilitação em engenharia civil, o que se reflete na distribuição dos engenheiros ativos (tabela 2). Enquanto nos Estados Unidos apenas 14,2% dos engenheiros são civis, no Brasil, cerca de 45,5% do total de engenheiros ativos são civis, muitos dos quais trabalham em empresas de setores industriais como eletroeletrônica, mecânica e química (Iida & Rocha Neto, 1990), do que se deduz que, freqüentemente, desempenham funções que extrapolam a sua formação profissional.

Tabela 1
Número de alunos matriculados em cursos de graduação no Brasil, por grandes áreas de conhecimento

Grandes áreas	Alunado de graduação	%
Ciências sociais aplicadas	578.067	38,5
Ciências humanas, letras e artes	410.173	27,3
Ciências da saúde	172.038	11,4
Ciências básicas	155.783	10,3
Engenharia/tecnologia	*145.914*	*9,7*
Ciências agrárias	41.585	2,8
Soma	1.503.560	100,0

Portanto, além do baixo número de profissionais, a engenharia no Brasil padece de uma séria distorção entre as diferentes subáreas, com predominância clara da engenharia civil.

Tabela 2
Distribuição dos engenheiros nos EUA e no Brasil

Áreas/engenheiros	EUA		Brasil	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Civil	319.100	14,2	134.058	45,4
Elétrica/eletrônica	540.800	24,0	40.731	13,8
Mecânica	453.700	20,3	42.414	14,4
Química	131.500	5,9	5.476	1,8
Aeronáutica	104.200	4,6	1.307	0,4
Outros	694.200	31,0	71.509	24,2
Soma	2.243.500	100,0	295.495	100,0

Fontes: NSF, Science & engineering indicators, 1987 e MEC/Sesu, 1986.

As áreas de graduação em engenharia são regulamentadas pela Resolução nº 48/76 do CFE, que introduziu um currículo mínimo para cada uma das seis grandes áreas de habilitação: civil, elétrica, mecânica, química, minas e metalurgia. Embora esta estrutura admita alguma flexibilidade através das habilitações com ênfases específicas, e ainda através de algumas habilitações especializadas, derivadas das áreas básicas (por exemplo, engenharia naval, originária da engenharia mecânica), não há dúvida de que a Resolução nº 48/76 se tornou inadequada e precisa ser substituída por um instrumento mais flexível, de maneira que a formação de engenheiros se articule melhor com o processo de evolução tecnológica e com as exigências do mercado de trabalho (Iida & Rocha Neto, 1990).

Em março de 1993, o secretário nacional de Ensino Superior reativou a Comissão de Especialistas do Ensino de Engenharia, que se dedicou à revisão da Resolução nº 48/76 e ao planejamento de metodologias de avaliação dos cursos de graduação em engenharia. Além disso, a implantação da autonomia universitária deverá conduzir a maiores flexibilidade e agilidade das escolas de engenharia na modernização de suas estruturas curriculares.

3. A pós-graduação em engenharia no Brasil

Evolução histórica

O primeiro curso formal de pós-graduação *stricto sensu* na área das engenharias foi criado em 1961 no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), que organizou um mestrado em sistemas de controle, nos moldes das universidades americanas. A participação expressiva de professores em regime de tempo integral envolvidos com pesquisas tecnológicas e a interação com o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) contribuíram para atrair alunos de todo o país para a graduação. Muitos desses alunos tiveram sua vocação para a pesquisa e ensino despertada no ITA, prosseguiram com seus estudos de pós-graduação no exterior ou no país, vindo, mais tarde, a participar da criação de vários centros de pós-graduação, notadamente na UFRJ, UFPb e Unicamp.

Em 1963, foi implantado o mestrado em engenharia química no Instituto de Química da UFRJ, ministrado em conjunto por professores brasileiros e da Universidade do Texas, com o apoio da Fundação Rockfeller e da Comissão Fullbright. O curso despertou grande interesse, o que levou à criação de novos programas de pós-graduação, em especial da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (Coppe), em 1965.

Ainda em 1965, foi criado o Fundo de Tecnologia do BNDE (Funtec), cujo primeiro financiamento foi concedido à Coppe. Graças ao apoio contínuo do Funtec e, posteriormente, da Finep, e ao interesse na pós-graduação, a Coppe expandiu-se rapidamente e, em 1970, já contava com 10 programas de pós-graduação, 88 docentes e mais de 600 alunos. Análises da evolução da Coppe (Carneiro Jr. & Bartholo, 1984; Carneiro Jr., 1990) mostram a importância desta instituição como centro formador de jovens professores para universidades brasileiras e da América Latina. Mostram, ainda, a interação da Coppe com o setor produtivo, sobretudo através dos centros de pesquisa de empresas estatais.

A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento

A implantação dos cursos de pós-graduação nas engenharias ocorreu de forma bastante distinta da evolução dos cursos de graduação.

Muitos foram os condicionantes que levaram ao rápido crescimento da pós-graduação: a criação de incentivos para a dedicação integral ao ensino e à pesquisa; o acesso a financiamentos externos e, posteriormente, internos; o aumento da população estudantil, com a conseqüente necessidade de formação de docentes; a adoção de políticas de governo direcionadas para o desenvolvimento científico e tecnológico; pesados investimentos na modernização

de setores básicos para a industrialização, como energia elétrica, telecomunicações etc.

A preocupação com a velocidade de criação de novos cursos deu origem à implantação do processo de avaliação da Capes, bastante criticado em diversos segmentos da comunidade universitária à época de sua criação. No que concerne à posição recente das engenharias perante as demais áreas do conhecimento, os dados revelam que elas respondem por 17,4 e 16,3% do total de alunos de mestrado e doutorado, respectivamente (tabela 3), percentual bem mais expressivo do que o da graduação (tabela 1), inferior a 10%. Nos Estados Unidos, contudo, as engenharias concentram 35,8% dos titulados com mestrado (1988) e 21% (1989) dos com doutorado, quase o dobro da participação das engenharias no Brasil: 18,2% dos titulados com mestrado e 12,1% dos com doutorado.

Tabela 3

Pós-graduação — alunado por área e nível — 1991

Área	Titulados		Total alunos	
	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado
Ciências exatas e da terra	1.001	255	4.302	2.048
Ciências biológicas	622	215	2.708	1.594
Engenharias	*1.176*	*173*	*6.290*	*1.912*
Ciências da saúde	795	300	4.973	1.869
Ciências agrárias	677	96	3.492	825
Ciências sociais aplicadas	700	117	4.844	1.251
Ciências humanas	1.154	200	7.105	1.981
Lingüística, letras e artes	332	79	2.512	267
Total geral	6.457	1.435	36.226	11.747

Fonte: Capes/DAV/DED.

Quanto ao corpo docente (tabela 4), as engenharias contam com 2.883 docentes de um total de 28.943, ou seja, pouco menos de 10%, o que implica uma relação aluno/professor maior do que a média das demais áreas do conhecimento.

Tabela 4

Corpo docente na pós-graduação em 1991

Área	Total docentes	Total doutorado	Docente permanente	Docente permanente c/ doutorado	Docente permanente orientador	Docente permanente em treinamento
Artes	246	158	200	133	94	29
Ciências biológicas	1.793	1.581	1.178	1.052	622	109
Ciências fisiológicas	1.655	1.475	1.194	1.925	634	151
Ciências exatas e da terra	4.082	3.579	2.884	2.619	1.712	402
Ciências humanas	4.431	3.664	3.226	2.749	2.223	321
Engenharias	*2.883*	*2.174*	*2.128*	*1.635*	*1.290*	*355*
Ciências agrárias	4.341	3.242	2.850	2.159	1.450	313
Ciências saúde	6.765	5.214	4.287	3.375	2.045	307
Ciências sociais aplicadas	2.747	1.901	1.889	1.321	1.050	257
Total	28.943	22.988	19.746	16.068	11.120	2.244

Fonte: Capes/DAV/DED.

No que diz respeito à produção científica, é necessário cautela ao comparar-se as áreas de conhecimento, não só pelos diferentes estágios de desenvolvimento em que se encontram no Brasil, como (e principalmente) pelas especificidades próprias a cada área. Comparando-se, por exemplo, o acesso a veículos consolidados de divulgação científica no país, a quantidade de trabalhos publicados em revistas nacionais nas áreas de ciências da saúde (3.122), agrárias (1.901) e sociais aplicadas (1.021) indica a presença de diversas sociedades científicas, consolidadas há algum tempo; nas engenharias, as poucas sociedades atuantes são mais recentes e vêm dando maior ênfase à organização de congressos no país (1.722 trabalhos) do que à edição de revistas.

Outro aspecto importante está relacionado com as formas de transferência dos resultados da produção intelectual à sociedade. Nas engenharias, a transferência para o setor produtivo, do conhecimento gerado através de estudos tecnológicos, ainda que sem a geração de patentes, é da maior importância, mas não é considerada nas avaliações das agências de fomento. Seria possível obter uma indicação do volume dessas atividades através do valor dos contratos de consultoria e convênios (Carneiro Jr., 1990), mas poucas instituições têm condições de fornecer os dados necessários.

Entre os indicadores de produção científica aqui utilizados, a produção de teses talvez seja menos sujeita aos condicionamentos já citados, o que é corrobo-

rado pela participação relativa das engenharias nas teses: 17,07% do total de mestrado e doutorado, equiparável a 17,04% do total de alunos (tabela 3). Comparada com outras áreas, as relações tese/docente-orientador e tese/total de alunos nas engenharias são, respectivamente, 0,92 e 0,19, considerando o mestrado apenas, enquanto são de 0,63 e 0,20 nas ciências humanas, e de 0,57 e 0,23, nas ciências exatas e da terra. Assim, embora cerca de 20% dos alunos de mestrado nessas três áreas tivessem apresentado tese ou dissertação em 1991, a relação tese/docente-orientador variou bastante, revelando-se nitidamente mais favorável nas engenharias. Agregando-se todos os indicadores de produção científica — excetuando-se aqueles relativos às teses — e relacionando-os com o número de docentes-orientadores, obtém-se um indicador produção total/docente-orientador de 2,42 para as engenharias, de 1,69 para as ciências humanas e de 2,12 para as ciências exatas e da terra. Ambos os indicadores refletem a maior produtividade das engenharias quando comparada com as ciências humanas e exatas e da terra.

Algumas conclusões podem ser tiradas a partir das análises desta seção:

- a pós-graduação em engenharia tem uma posição destacada em relação às demais áreas do conhecimento em contraste com a graduação, onde a posição das engenharias é bem menos favorável;

- as relações aluno/professor, tese/docente-orientador e produção total/docente-orientador refletem a maior eficiência das engenharias quando comparadas com duas áreas do conhecimento, uma mais próxima (ciências exatas), e outra mais distante (ciências humanas).

A pós-graduação em engenharia no Brasil no contexto das suas diversas subáreas

Na pós-graduação, o quadro é bastante diferente do da graduação, onde foi constatada a forte concentração de alunos na engenharia civil. A engenharia elétrica surge como a opção mais freqüente, com 25,4% do total, seguida das engenharias mecânica (16%) e de produção (14,9%). A engenharia civil aparece em quarto lugar, com 12,6%, equivalente a cerca da metade do alunado da engenharia elétrica.

4. Engenharia química

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes, no biênio 1990/91 existiam apenas nove cursos de pós-graduação, dos quais somente cinco ofereciam doutorado. A maioria dos cursos tinha um corpo docente consolidado, exceto na UFRN e na UFPb onde, apesar de terem sido implantados em 1988, docentes não-doutores ainda estavam matriculados na pós-graduação. Em 1991, formaram-se apenas 89 mestres e 12 doutores, número muito aquém das necessidades do país.

A produção científica é também modesta, sobretudo no que se refere a publicações em revistas internacionais. Com um índice de 0,20 de trabalho por docente-doutor (correspondente a 22 artigos publicados em revistas internacionais) e um índice de produção total/docente de 1,62 em 1991, a engenharia química se situa bem abaixo da média de 2,42 para as engenharias. A assimetria entre os diversos grupos é muito grande. No extremo superior, está a UFRJ/Coppe, com produção/total em 1991 superior a 3,13 e, no extremo inferior, a UFRN, com um índice próximo a 0. Em 1991, a subárea registrou apenas três pedidos de patentes ou protótipos, o que é muito pouco tendo em vista o caráter experimental de boa parte das linhas de pesquisa.

A tabela 5 apresenta a distribuição dos pesquisadores que recebiam bolsas de pesquisa do CNPq em maio de 1992. Embora o sistema de bolsas de pesquisa do CNPq não atinja todo o universo de pesquisadores, dos 111 docentes doutores da subárea, 48 estavam no sistema em maio de 1992, a maior parte classificada na categoria II, nível C, indicando uma quantidade expressiva de recém-doutores ingressando numa "carreira de pesquisa" bastante disputada e sujeita a avaliação pelos pares.

Tabela 5
Bolsista de pesquisa do CNPq: engenharia química
(maio 1992)

Nível	Categoria I	Categoria II
A	6	3
B	6	7
C	5	21
Total	17	31

Atuação em pesquisa nas universidades

Segundo Perlingeiro (Seplan/CNPq, 1983) as atividades de pesquisa desenvolvidas nas universidades abrangiam, já em 1982, praticamente todo o espectro da engenharia química.

Atualmente, os campos de atuação das diversas instituições estão assim distribuídos:

• termodinâmica aplicada a sistemas químicos — UFBA, UFRJ/Coppe, USP e Unicamp;

• cinética e catálise e reatores químicos — UFRJ/Coppe, UFSCar, Unicamp, UFBA e USP;

• processos bioquímicos — UFRJ/Coppe e EQ, USP, UFSCar e Unicamp;

• fenômeno de transporte — UFRJ/Coppe, UFSCar e USP;

• operações unitárias e processos de separação — UFRJ/Coppe, USP, Unicamp, UFSCar, UFBa e UFRN;

• modelagem, simulação e controle — UFRJ/Coppe, USP, Unicamp e UFSCar.

Embora as linhas de pesquisa acima estejam sendo desenvolvidas em mais de uma instituição, existem certos tópicos que, dada a importância das indústrias químicas e de alimentos já existentes no país, deveriam ser objeto de ações específicas de fomento, especialmente:

• fenômenos de superfície (emulsões, colóides, cristalização etc.);

• reologia (fluidos não-newtonianos, escoamento e agitação, sistemas bi ou trifásicos);

• processos eletroquímicos;

• processos biotecnológicos;

• controle da poluição ambiental.

Várias dessas linhas são interdisciplinares, em consonância com a tendência do desenvolvimento recente nas engenharias.

O comitê assessor de engenharia química propôs um plano de metas físicas e orçamentárias para 1993, com um orçamento global de cerca de US$4,8 milhões, excluindo bolsas no país e no exterior. O comitê estima, ainda, um custo unitário para os auxílios individuais de US$20.000,00. Agregando-se a este valor uma participação em congresso nacional por ano e uma em congresso internacional a cada dois anos, chega-se a um montante de US$23.000,00 anuais necessários para assegurar uma participação ativa na área. O comitê recomendou, ainda, a concessão de 50 bolsas de doutorado e 10 de pós-doutorado no exterior.

5. A subárea de engenharia elétrica

Situação geral da subárea no país

Como foi mencionado, entre as diversas subáreas da engenharia, a elétrica é a que concentra o maior número de cursos e pesquisadores. Segundo a Capes, no biênio 1990/91 existiam 19 cursos de pós-graduação, dos quais sete ofereciam mestrado e doutorado e 12 apenas o mestrado.[1] Em diversos cursos, o número de doutores é bem menor que o de docentes permanentes, indicando uma presença expressiva de não-doutores na pós-graduação. Dos 19 cursos, 11 são consolidados no nível de mestrado e apenas três em nível de doutorado (UFRJ/Coppe, Unicamp e PUC/RJ).

Em 1991, 309 alunos completaram o curso de mestrado e 48 o de doutorado. Embora significativos, quando comparados com os das demais subáreas, esses números são ainda insuficientes para atender às necessidades apenas dos cursos de graduação no país, sem levar em conta os demais setores da economia. Segundo dados do CNPq, em maio de 1992, havia 120 bolsistas de doutorado e cinco de pós-doutorado no exterior. Calculando em quatro anos o tempo médio de titulação, estima-se o retorno de cerca de 30 recém-doutores a cada ano, número que, acrescido dos titulados no país (48 em 1991), aponta para uma situação de grande dinamismo da engenharia elétrica, com a titulação de mais de 70 doutores a cada ano.

Em 1991, a produção científica em revistas internacionais totalizou 79 artigos: cerca de 0,19 trabalho por docente-doutor, índice nitidamente abaixo do potencial da subárea. O índice produção total/docente-doutor, por sua vez, era de 1,71, situando a engenharia elétrica abaixo da média das engenharias.

Ainda em 1991, houve 23 pedidos de patentes e protótipos, provenientes, sobretudo, da Faculdade de Engenharia Industrial (FEI), com oito pedidos, e do Instituto Militar de Engenharia (IME), com cinco pedidos. Embora ambos os cursos enfrentem problemas para se consolidar, fica claro que sua vocação para desenvolvimento (P&D) se sobrepõe à dimensão acadêmica.

A distribuição dos pesquisadores que recebiam bolsas de pesquisa do CNPq, em maio de 1992 (tabela 6), revela aspectos interessantes quando comparados aos de outras subáreas. Tomando como exemplo a engenharia química, onde quase metade dos docentes doutores estava no sistema, na engenharia elétrica apenas 98 dos 409 docentes doutores recebem bolsa de pesquisa. O percentual de pesquisadores na categoria I também é bem mais baixo na engenharia elétrica do que na química. Não há motivo aparente para essas discrepâncias, pois ambas são áreas tradicionais e enfrentaram processos de implantação muito semelhantes.

[1] O curso de telecomunicações da Universidade Mackenzie (UM) foi considerado como mestrado apenas, por ser ainda incipiente e por não ter qualquer aluno de doutorado.

Este aspecto decorre da utilização de critérios de avaliação bastante distintos pelos comitês assessores, com o CA da engenharia elétrica atuando com maior rigor, pelo menos no que diz respeito à classificação nos níveis mais altos da "carreira de pesquisa", conforme já observado por Nussenzweig (1993).

Tabela 6
Bolsistas de pesquisa do CNPq: engenharia elétrica e biomédica

Nível	Categoria I	Categoria II
A	3	22
B	6	28
C	8	31
Total	17	81

Fonte: CNPq, maio de 1992.

Atuação em pesquisa

Optou-se, nesse estudo, por dividir a engenharia elétrica nos seguintes setores: eletrônica e microeletrônica, sistemas de energia, eletrônica de potência, telecomunicações, e sistemas de controle. O grau em que cada um deles é coberto pelos diferentes cursos de pós-graduação varia bastante:

• eletrônica e microeletrônica — excetuando-se a Universidade Mackenzie (UM), os outros 18 cursos atuam neste setor. Na área de microeletrônica, os principais grupos estão na Unicamp e na USP; na área de eletrônica, os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, na UFSC e na Unicamp;

• sistemas de energia elétrica — também conhecido como sistemas de potência, este setor conta com grupos atuantes em quase todos os cursos, excetuando-se o ITA, a UFPe e a FEI. Os grupos mais ativos estão na Unicamp, UFRJ/Coppe, PUC-RJ e UFSC, entre outros; no setor de máquinas elétricas, destacam-se as equipes da USP (Politécnica) e da UFSC;

• telecomunicações — os principais grupos estão na Unicamp e na PUC-RJ;

• controle — abrange controle e automação — ambas de caráter interdisciplinar — e os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, Unicamp, UFSC e USP-SP, ainda que muitos processos automatizados sejam cobertos pela eletrônica;

• eletrônica de potência — um dos setores que, nos últimos 10 anos, mais se desenvolveu, já existindo, na UFSC e na UFRJ, grupos com atuação internacional, além de outros, bastante ativos, na UFPb, UFMG, UFU.

O Comitê Assessor de Engenharia Elétrica do CNPq propôs um plano de metas físicas para 1993 no valor de US$4,58 milhões, excetuando-se as bolsas de estudo. O critério adotado foi o de definir um universo desejável de 200 bolsas de pesquisa para a subárea, onde cada pesquisador teria apoio para uma participação em congresso nacional a cada ano e uma em congresso internacional a cada dois anos. Seriam ainda apoiados um pesquisador visitante por ano para cada curso e a realização de congressos no país promovidos pelas sociedades científicas da subárea como a Sociedade Brasileira de Automática (SBA), a Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica (SBEB), a Sociedade Brasileira de Telecomunicações (SBT) etc. O comitê recomendou, ainda, a concessão de 100 bolsas de doutorado e 20 de pós-doutorado no exterior, em 1993.

Principais institutos de pesquisa

Eletrônica e microeletrônica

O Laboratório de Microeletrônica (LME), da USP, fundado em 1968, o CTI, da Unicamp, o Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI), da USP — os dois últimos criados mais recentemente —, são os principais centros para o desenvolvimento da tecnologia de circuitos integrados e microcomputadores, e de robótica (CTI).

Sistemas de energia elétrica

O Centro de Pesquisas Elétricas (Cepel) da Eletrobrás, implantado em 1974, tem-se destacado nesse setor. Os enormes investimentos no setor elétrico, aliados à existência de centros de pós-graduação capazes de suprir os recursos humanos necessários, permitiram ao Cepel se desenvolver rapidamente (Carneiro Jr., 1990), e alguns de seus grupos têm atuação internacionalmente reconhecida em tecnologias de alta tensão, materiais, estabilidade de sistemas elétricos, planejamento de sistemas elétricos, e transitórios eletromagnéticos, entre outros. Após um longo período de declínio, o Instituto de Eletrotécnica da USP vem se fortalecendo na área de ensaios elétricos e máquinas elétricas. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) atua na área de ensaios industriais, da mesma forma que a Companhia Paranaense de Eletricidade (Copel), que mantém o Laboratório de Eletrotécnica e Eletrônica (LAC) em Curitiba.

Telecomunicações

Em 1974, foi criado o CPqD da Telebrás, com a participação ativa de professores do Cetuc (PUC/RJ), da Unicamp e do ITA. Tal como ocorreu com o Cepel, o binômio investimentos públicos/recursos humanos capacitados favoreceu a rápida consolidação do CPqD e seu engajamento em atividades de P&D de ponta, de nível internacional.

Robótica

O Cenpes/Petrobras, como parte de seu programa de capacitação para exploração de petróleo em águas profundas, mantém um grupo dedicado à robótica submarina (ver subseção Principais institutos de pesquisa, na seção 8 deste trabalho).

6. Engenharia biomédica

Situação geral da subárea no país

No Brasil, existem apenas três departamentos dedicados exclusivamente à engenharia biomédica: o Programa de Engenharia Biomédica da UFRJ/Coppe, o Núcleo de Estudos em Engenharia Biomédica da UFPb e o Departamento de Bioengenharia da USP-São Carlos. Além destes, atuam na subárea diversos grupos cujos dados estão inseridos em estruturas mais abrangentes, dificultando assim a análise específica em biomédica: o Departamento de Engenharia Biomédica da Faculdade de Eletricidade da Unicamp, o Departamento de Eletrônica da Escola Politécnica da USP, o Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC e, mais recentemente, o Cefet, do Paraná.

Dos três cursos, o mais antigo, implantado na UFRJ/Coppe em 1971, é o único consolidado e, mesmo assim, apenas no nível de mestrado. Os outros dois, apesar de datarem de 1978, ainda não se consolidaram sequer no nível de mestrado. Dos centros não-cadastrados junto à Capes, o Departamento de Biomédica da Unicamp apresenta um bom desempenho no nível de mestrado, embora os dados disponíveis não permitam identificar como atuam outros centros como os da USP, da UFSC e do Cefet.

Em 1991, o curso de bioengenharia da USP-São Carlos contava com 13 docentes permanentes e 12 doutores, enquanto o da UFRJ tinha 14 docentes permanentes e nove doutores. Apesar disso, o peso da produção científica da subárea se concentra, em todos os aspectos, no curso da UFRJ. A produtividade do curso da USP-São Carlos deixa muito a desejar, face ao potencial aparente do corpo docente. Já o grupo da Unicamp, com oito doutores e um mestre em 1992, é o que apresenta melhor titulação. Os índices de produtividade eram de 1,0 trabalho em revistas internacionais por docente — o mais alto entre todas as engenharias — e de 1,45 em termos de produção total/docente doutor.

Para fins de concessão de bolsas pelo CNPq, a engenharia biomédica faz parte da engenharia elétrica, tornando-se impossível, portanto, identificar o padrão de distribuição de bolsas de pesquisa no exterior para essa subárea. O quadro geral da engenharia biomédica é bastante precário, não só tendo em vista as necessidades do país como também quando se considera que nos hospitais deveriam existir profissionais formados em engenharia clínica, para melhorar as condições de manutenção e de utilização dos equipamentos hospitalares. Uma das maiores dificuldades da área é o fato de ela existir apenas no nível de pós-graduação, o que tem impedido o seu crescimento mais rápido, pois é freqüente o ingresso, em departamentos de engenharia elétrica, de mestres formados no setor, que freqüentemente acabam fazendo doutorado e pesquisas *fora* da área de biomédica.

Atuação em pesquisa

A engenharia biomédica inclui a bioengenharia, a engenharia clínica, a engenharia de reabilitação e a engenharia de sistemas de saúde. A situação de cada uma delas nos diferentes cursos de pós-graduação (inclusive aqueles não-credenciados especificamente na subárea) e centros de pesquisa é a seguinte:

- bioengenharia — é o setor mais tradicional, com atividade de pesquisa em todas as universidades; os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, na Unicamp e no Incor (Instituto do Coração);

- engenharia clínica — somente alguns grupos atuam neste setor, e o mais importante é o da Unicamp, embora a UFPb e o Cefet (PR) também realizem pesquisas nessa área;

- engenharia de reabilitação — esta é uma área pouco desenvolvida nas universidades, mas ativa em outras unidades e institutos de pesquisa (como o Hospital Sarah Kubitschek e o Hospital das Clínicas de São Paulo). A Unicamp também atua nessa área;

- engenharia de sistemas de saúde — este setor incorpora parte do que é hoje conhecido como informática em saúde; o principal grupo, com mestrado e doutorado, está na UFRJ/Coppe. Também realizam pesquisa de peso nessa área a Escola Paulista de Medicina, o Incor e a Unicamp.

7. Engenharia civil e sanitária

Situação geral da subárea no país

Apesar de ser a mais tradicional de todas as engenharias, a engenharia civil não foi a primeira a implantar a pesquisa e a pós-graduação no país nem suas atividades nessas áreas têm tido destaque especial. Ainda assim, cabe uma menção

aos trabalhos pioneiros realizados por diversos institutos, notadamente o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), criado em 1922, e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), fundado em 1934, no campo do concreto armado e em outros aspectos da subárea (Aidar & Cytrynorwicz, 1993:17-21).

Em 1990/91, existiam 17 cursos de pós-graduação, três deles em engenharia sanitária. Do total, somente oito cursos incluíam o doutorado e apenas quatro (UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP e USP-São Carlos — estruturas) eram consolidados no mestrado e doutorado, e um apenas no mestrado (UFRGS). A situação da engenharia sanitária é bastante precária, uma vez que o curso mais antigo (UFMG) tem conceito regular inferior (C –), e os outros dois estão ainda em fase de implantação.

Em 1991, foram titulados apenas 219 mestres e 45 doutores, número pouco expressivo quando comparado com as demais engenharias.

Em 1991, a produção científica em termos de publicação de artigos em revistas internacionais resultou em um índice de apenas 0,125 trabalho por docente-doutor, equivalente a uma média de um trabalho a cada oito anos. O índice de produção total/docente-doutor foi de 1,97, abaixo da média entre as engenharias. Esse índice é função da maior participação em congressos nacionais e internacionais, em detrimento da publicação em revistas. Tanto o comitê assessor do CNPq da subárea quanto o GTC da Capes apontam para esta distorção e recomendam maior empenho em publicar em periódicos já estabelecidos.

A subárea não registrou qualquer pedido de patente no biênio 1990/91.

Atuação em pesquisa nas universidades

Um traço marcante da subárea nas últimas décadas (Seplan/CNPq, 1983) tem sido sua crescente interdisciplinaridade em função da introdução de novos conhecimentos desenvolvidos nas áreas de cálculo numérico, técnicas computacionais, instrumentação eletrônica e novos materiais, entre outras. Criou-se, também, uma interface cada vez maior com outras áreas das ciências, inclusive não-exatas, como a arquitetura, a saúde e as ciências sociais.

Uma das conseqüências disso é a dificuldade em se definir os setores que compõem a engenharia civil. Na análise a seguir, adotou-se a mesma divisão sugerida por Alcântara Gomes (Seplan/CNPq, 1983), excetuando-se o setor de transportes, classificado aqui como subárea da engenharia:

• construção civil — a USP-Politécnica, a UFRGS e a UFF são os únicos centros que atuam nessa área, quase sempre através de cursos de mestrado e especialização, ao passo que geralmente a pesquisa é pouco desenvolvida;

• estruturas — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP-São Carlos, USP-Politécnica, UFRGS e UFMG, este último criado mais recentemente;

• geotecnia — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP-São Carlos e UnB (Brasília);

• recursos hídricos, saneamento e sanitária — USP-São Carlos, UFRJ/Coppe, USP-Politécnica e UFCe são os principais centros que trabalham com essa área.

O comitê assessor do CNPq recomendou a concessão de 200 bolsas de pesquisa e de US$2,8 milhões para auxílios à pesquisa e realização de eventos. Partindo da hipótese de que esse montante seria distribuído pelos 200 bolsistas, ter-se-ia um valor médio de US$14 mil para apoio aos pesquisadores, inferior ao proposto para as engenharias química e elétrica. O comitê assessor propôs ainda 100 bolsas de doutorado e 50 de pós-doutorado no exterior.

Institutos de pesquisa tecnológica

No início da década de 80, um número expressivo de institutos de pesquisa atuava em vários setores da engenharia civil (Seplan/CNPq, 1983): IPT, INT, IPR, Ceped, Itep (PE), Cientec (RS). Na década de 90, contudo, apenas o IPT vem desenvolvendo um trabalho importante nessa área; os demais ou foram desativados (IPR), ou passaram a se dedicar a outros setores.

A desativação de centros de pesquisa tecnológica na engenharia civil mereceria um estudo à parte identificando suas causas e conseqüências para o país.

8. Engenharia mecânica e aeroespacial

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes, existem, nessa área, 18 cursos, dos quais nove de doutorado. Em 1991, havia 333 docentes permanentes, 284 dos quais com doutorado. Foram titulados 216 mestres e 34 doutores, número considerado pequeno pelo comitê assessor do CNPq que, mais uma vez, aponta para o desequilíbrio entre as engenharias. O comitê assessor estima que, no Brasil, existam apenas 0,75 engenheiro mecânico para cada 1 mil habitantes da PEA, enquanto nos Estados Unidos esta densidade é 11 vezes maior (8,75 para cada 1 mil habitantes).

O comitê assessor alerta, ainda, para o fato de que, entre 1987 e 1990, a subárea evoluiu bem mais lentamente que as demais em praticamente todas as modalidades de apoio do CNPq — bolsas de iniciação científica, mestrado, doutorado etc. —, deixando claras as seqüelas da crise da economia brasileira sobre a demanda por engenheiros e pesquisadores qualificados na área de engenharia mecânica.

Em 1991, a produção científica foi de 0,19 trabalho publicado em revistas internacionais por docente-doutor e o índice de produção total/docente-doutor atingiu 3,09, o maior entre todas as subáreas da engenharia. Este índice é um reflexo da intensa participação em congressos no país e no exterior, já que a engenharia mecânica é, sem dúvida, uma das mais organizadas no tocante à realização de eventos no país.

A subárea teve sete pedidos de patentes ou protótipos no biênio 1990/91.

Atuação em pesquisa nas universidades

As áreas de concentração da engenharia mecânica seguem a classificação a seguir, acrescida da identificação dos grupos mais atuantes:

- processos de fabricação — os principais grupos estão na UFSC, USP-São Carlos e Unicamp;

- acústica e vibração — os grupos da UFSC, UFRJ/Coppe e Unicamp são os que mais se destacam;

- mecânica dos sólidos e projeto de máquinas (robótica) — o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) do CNPq tem um grupo muito ativo em mecânica dos sólidos; existem grupos importantes na UFSC, na PUC-RJ, na UFRJ/Coppe, na Unicamp e na UFU; a robótica, por sua vez, é incipiente no país, embora existam alguns grupos importantes na UFRJ/Coppe e na UFSC;

- termociências — a Unicamp, a UFSC, a PUC-RJ e a UFRJ/Coppe têm grupos bem consolidados, embora haja também grupos na USP-Politécnica, na UnB e na UFU, os dois últimos ainda não-consolidados;

- mecânica dos fluidos — os grupos mais fortes estão na UFSC, na PUC-RJ, na UFRJ/Coppe, na Unicamp e no ITA.

O comitê assessor do CNPq definiu em US$50 mil por projeto o valor necessário para projetos integrados para o primeiro ano, e em US$30 mil o montante para os dois anos seguintes. Estimando-se que o potencial da subárea conduziria a uma aprovação de 70 projetos, o impacto orçamentário seria de US$3,5 milhões no primeiro ano, e de US$2,1 milhões nos anos seguintes. O comitê abrange também a subárea de engenharia naval e oceânica, analisada mais adiante neste trabalho (seção 10).

Além dos projetos integrados, que envolveriam em média três doutores cada, o comitê assessor apresentou uma proposta no total de US$ 4,355 milhões. O valor global para 1993 — incluindo os projetos integrados — atingiu, portanto,

US$ 7,655 milhões. O CA recomendou, ainda, a concessão de 70 bolsas no exterior para doutorado e de 16 para pós-doutorado.

Principais institutos de pesquisa

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), com seus laboratórios sediados em São José dos Campos e Cachoeira Paulista, abriga grupos fortes em pesquisa tecnológica nos setores de combustão, aerodinâmica e simulação térmica. O Instituto de Atividades Espaciais (IAE) vem se dedicando ao desenvolvimento tecnológico na área de combustão.

Os investimentos da Petrobras na busca de reservatórios de petróleo na plataforma continental do Atlântico forçaram a empresa a desenvolver um intenso programa de capacitação técnica coordenado pelo Centro de Pesquisa Leopoldo Miguez, o Cenpes. Este programa começou no final da década de 70, dedicando-se, inicialmente, ao projeto de estruturas *Offshore*. O êxito da prospecção, com as sucessivas descobertas de novos campos, inclusive em águas profundas, conduziu a novos desafios tecnológicos. Para enfrentá-los, o Cenpes buscou o apoio de grupos de pesquisas nas universidades, notadamente na UFRJ/Coppe, e vem mantendo desde 1978 um convênio com esta instituição, abrangendo os mais diversos aspectos da produção de petróleo no mar: projeto de estruturas marítimas, interação mar-estruturas, proteção catódica, sistemas elétricos das plataformas, robótica submarina etc. A Petrobras passou a ser reconhecida internacionalmente como detentora de tecnologias de ponta na área de exploração em águas profundas (Carneiro Jr., 1990). O curso de engenharia do petróleo da Unicamp faz parte do mesmo projeto de capacitação da empresa. O Cenpes mantém, ainda, grupos bastante ativos nas linhas de fluidos não-newtonianos e escoamento bifásico.

Na área de P&D da indústria mecânica destaca-se a Embraco (SC), que tem uma forte interação com a UFSC e que exporta cerca de 60% de sua produção de compressores. A Metal Leve — que exporta diversas peças e componentes, notadamente cilindros para motores de combustão interna — montou um centro de P&D com a finalidade de realizar a transferência de tecnologias para os processos produtivos da empresa.

9. Engenharia metalúrgica de materiais e de minas

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes para o biênio 1990/91, a maioria dos cursos se concentra na área de metalurgia (seis), com dois cursos recentemente criados na área de materiais e apenas dois em minas. O curso da UFRJ — que abrange os três

setores — e o da Unicamp — voltado exclusivamente para o petróleo — também estão computados entre os da engenharia mecânica.

Tratando-se de um setor de inegável importância estratégica para o país, e que mereceu atenção especial do governo central já na época do Império, através da criação da Escola de Minas de Ouro Preto, em 1875, o quadro geral da subárea chega a ser surpreendente. Apenas dois cursos são consolidados no nível de mestrado e doutorado, e outros dois, só no nível de mestrado.

Uma explicação para a lenta evolução da subárea, especialmente da engenharia de minas, é de natureza econômica: os capitais de risco envolvidos nas atividades minerais são muito elevados, e uma parcela substancial do risco se refere ao tratamento do minério para a obtenção econômica do resultado final. Este risco tem sido enfrentado por empresas multinacionais, que podem financiar as pesquisas em laboratórios próprios ou através de contratos. No Brasil, apenas as empresas estatais têm tido condições de investir em pesquisas desse tipo. Outra explicação, de natureza acadêmica, baseia-se no desenvolvimento da área de geociências (Seplan/CNPq, 1983), onde se concentram muitas linhas de pesquisa aplicada que poderiam se enquadrar igualmente no âmbito da engenharia de minas.

Nos setores de metalurgia e materiais, existe uma forte interação com a física, sobretudo do estado sólido, e com a química, em especial nas linhas de polímeros e catalisadores.

Em 1991, titularam-se 147 mestres e 18 doutores. A produção científica está concentrada em congressos nacionais e o índice produção total/docente-doutor atingiu o valor de 2,71, superior à média das engenharias, que é de 2,42. O índice de publicação de artigos em revistas internacionais é de 0,28 trabalho/docente-doutor, também acima da média para as engenharias química e elétrica. A subárea registrou apenas dois pedidos de patentes em 1991.

O comitê assessor da subárea classificou todos os pesquisadores-doutores na carreira de pesquisa do CNPq, merecendo destaque o número expressivo de doutores recém-titulados.

A distribuição dos pesquisadores entre as diversas categorias indica que o comitê assessor do CNPq tem sido bastante criterioso nas suas avaliações. Em maio de 1993, havia 120 pesquisadores bolsistas do CNPq, o que indica que quase metade do total de doutores da subárea estava integrada ao sistema de bolsas do CNPq.

Atuação em pesquisa

Ainda de acordo com o CA, em anos recentes a área de materiais vem experimentando um avanço tecnológico significativo, concentrando os maiores investimentos nas áreas de supercondutividade, materiais para microeletrônica (filmes e recobrimentos), materiais cerâmicos e compósitos.

Nos setores de minas e metalurgia extrativa, o envolvimento dos grupos mais consagrados tem-se direcionado para a etapa final de processamento dos produtos.

O impacto resultante de novos desenvolvimentos é de curto prazo, com reflexos quase imediatos na sociedade.

A situação dos diversos setores é resumida a seguir, com base na divisão setorial utilizada por Godoy (Seplan/CNPq, 1983):

• engenharia de minas — em razão da estreita relação com a geociências, existem, ao todo, segundo levantamento da Capes em 1991, 13 cursos de mestrado e doutorado, e 13 no nível só de mestrado; entre os cursos de mestrado, cinco obtiveram conceito A, 18, conceito B, e 3, conceitos inferiores (ou ainda não foram avaliados). Os principais grupos de pesquisa em geociências estão na Unicamp. Na engenharia de minas propriamente dita, os grupos mais atuantes estão na USP-SP (lavra de minas, pesquisa e recursos minerais, e processamento de minas), na UFMG e na UFRGS. A situação da subárea como engenharia é ainda bastante incipiente;

• metalurgia extrativa — os principais grupos estão na USP-SP, UFMG, UFRJ/Coppe, PUC-RJ e na UFRGS;

• metalurgia de transformação — os grupos mais ativos estão na UFRJ/Coppe, UFMG, USP-SO, UFRGS e UFSCar;

• metalurgia física — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, UFMG, PUC-RJ, UFSCar e USP-SP;

• materiais não-metálicos — existem apenas dois grupos com alguma expressão: na UFSCar e na UFRJ/Coppe.

De acordo com as metas físicas propostas pelo comitê assessor da subárea no CNPq para 1993, seriam apoiados 20 projetos, no valor de US$20 mil, 20 de US$30 mil, 10 de US$40 mil e cinco de US$50 mil. É uma proposta interessante, pois não reduz todos os projetos ao mesmo nível, permitindo que grupos com maior atuação experimental possam pleitear apoios mais substanciais. Os valores médios resultantes são sensivelmente superiores aos pleiteados pelos comitês das demais subáreas, com exceção daqueles projetados pelo CA de engenharia mecânica, para o primeiro ano de apoio a projetos integrados. O CA propôs, ainda, 20 bolsas no exterior para doutorado e 36 para pós-doutorado.

Principais institutos de pesquisa

A subárea dispõe de um número significativo de centros de pesquisa, públicos e privados. Os mais importantes são:

- Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) do CNPq, em metalurgia extrativa;

- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em metalurgia extrativa, de transformação e física;

- Centro Técnico Aeroespacial (CTA), em metalurgia extrativa;

- Centro de Pesquisas Elétricas (Cepel), em metalurgia física e de transformação e em materiais;

- o Ipen, o IEN, e o Inpe (São José dos Campos), em materiais;

- o Cenpes/Petrobras, em geologia do petróleo.

Além destas, algumas empresas do setor siderúrgico mantêm centros de pesquisas: a Companhia Vale do Rio Doce (metalurgia extrativa), a Usiminas (metalurgia física, extrativa, de separação e de extração, de materiais etc.), a Fundição Tupy (metalurgia física e de transformação), a Companhia Siderúrgica Nacional e a Acesita (ambas já privatizadas).

10. Demais subáreas da engenharia

Não se pretende aqui fazer uma cobertura exaustiva de todas as subáreas da engenharia. Uma tarefa desse porte não só fugiria ao escopo deste trabalho, como requereria um tratamento multidisciplinar, uma vez que as fronteiras com as demais áreas do conhecimento se tornaram bastante difusas, em função das especializações que vêm surgindo em anos recentes. Dentro dessa perspectiva, não foram incluídas a engenharia de computação, de alimentos, florestal, agrícola, de pesca, e ainda áreas de concentração como planejamento energético e meio ambiente.

Engenharia da produção

A engenharia de produção se distingue das demais engenharias pelo seu alto grau de interdisciplinaridade, em que conhecimentos das áreas de ciências humanas e sociais têm a mesma importância que as ciências da engenharia propriamente ditas.

Por se situar na base do setor produtivo, a engenharia de produção desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e tecnológico de um país. No Brasil, o primeiro curso de graduação foi criado em 1957, na Epusp, e, atualmente, existem mais de 20 cursos no país, com grande demanda por parte dos alunos.

Existem sete cursos na pós-graduação, com apenas três no nível de doutorado, nenhum deles consolidados. O índice de produção total/docente-doutor foi de 1,47 em 1991, enquanto o índice de publicação em revistas internacionais é de apenas 0,09 artigo/docente-doutor. Ambos os índices estão entre os mais baixos nas engenharias, e há uma forte concentração da produção científica na UFSC, em congressos nacionais. Houve, entretanto, uma evolução expressiva no número de alunos titulados no mestrado, que se elevou de 63, em 1990, para 103, em 1991.

Os setores mais tradicionais e desenvolvidos da engenharia de produção são: gerência da produção, pesquisa operacional, engenharia econômica e engenharia do produto, embora existam outros, como organizacão do trabalho, gerência da tecnologia e sistemas de transporte (este último setor será incluído na subárea de engenharia de transportes).

A baixa produtividade da subárea se reflete na alocação de bolsas de pesquisa do CNPq: existiam apenas nove bolsistas na categoria I e 20 na categoria II, indicando que apenas 29 dos 89 docentes-doutores participavam do sistema em 1992, e desses, quatro estavam classificados no nível I.A.

As metas orçamentárias do comitê assessor da subárea para 1993 totalizam US$4,410 milhões, com valores estipulados, tanto para os projetos individuais quanto para os integrados, substancialmente mais altos do que os que foram recomendados para as demais subáreas. O comitê recomendou a concessão de 30 bolsas de doutorado e 10 de pós-doutorado no exterior em 1993.

Engenharia de transportes

A engenharia de transportes trata da teoria, dos métodos e das técnicas de planejamento, projeto, operação e gerenciamento de sistemas de transporte. Em nível de graduação, é considerada como especialidade da engenharia civil, naval, aeronáutica e de produção, embora na pós-graduação tenha adquirido o *status* de subárea. Os dados analisados a seguir não incluem três cursos de pós-graduação que, embora de outras subáreas, oferecem titulação com área de concentração em transportes, a saber: PUC/RJ (engenharia industrial), IME (ciências de computação) e UFPb (engenharia civil).

Existem cinco cursos de pós-graduação, dos quais três incluem o doutorado, nenhum deles consolidado. A produção científica em revistas internacionais, em 1991, foi de apenas 0,11/docente-doutor, bastante inferior à média das engenharias, enquanto o índice de produção total foi de 1,17, também muito inferior à média.

Os principais setores de estudos da engenharia de transportes são a engenharia de tráfego e segurança viária (UFRJ/Coppe), a infra-estrutura rodoferroviária (USP-SP e USP-São Carlos), a infra-estrutura aeroportuária (ITA), e transportes urbanos (UnB). São poucas as bolsas de pesquisa do CNPq concedidas aos docentes da subárea: apenas 17 dos 69 docentes-doutores estavam no sistema em 1992, dos quais cinco classificados na categoria I (apenas um na I.A) e 12 na categoria II.

As metas orçamentárias propostas pelo comitê assessor para 1993 totalizavam US$1,369 milhão, com grande ênfase na participação em congressos no exterior. O comitê assessor recomendou, ainda, a concessão de 41 bolsas no exterior, 25 para doutorado e oito para pós-doutorado.

Engenharia nuclear

A engenharia nuclear inclui, entre outros tópicos, a física de reatores, a termodinâmica e a análise de segurança, e incorpora conhecimentos de diversas subáreas da engenharia, notadamente mecânica, metalúrgica, química, civil e elétrica. Além destas, possui interfaces com a radiologia, a radioquímica e a radioecologia, entre outras, tendo, portanto, uma forte componente de interdisciplinaridade (Seplan/CNPq, 1983).

São seis os cursos de pós-graduação, dos quais dois (UFRJ/Coppe e USP) oferecem o doutorado. Diversas outras instituições oferecem cursos relacionados com a engenharia nuclear como área de concentração de programas de pós-graduação, especialmente a UFRGS e a PUC-RJ (ambas engenharia mecânica).

Por motivos históricos, dois cursos de planejamento energético estão relacionados na subárea, embora, a partir de 1991, eles tenham passado a ter existência autônoma. A produtividade em termos de artigos em revistas internacionais foi de 0,10 trabalhos/docente-doutor, enquanto o índice de produção total foi de apenas 0,45, muito inferior à média das demais subáreas. É provável que exista alguma distorção nesses índices, devido à ausência de registro da produção científica dos cursos da USP, da UFMG e do IME.

As metas físicas e o orçamento propostos pelo comitê assessor do CNPq para 1993 resultaram em um valor global de US$1,143 milhão, tendo o CA recomendado a concessão de 31 bolsas no exterior, 25 de doutorado e seis de pós-doutorado.

A participação dos 131 docentes-doutores da subárea no sistema de bolsas de pesquisa do CNPq é muito reduzida, registrando-se a existência de apenas três pesquisadores na categoria I e de 14 na categoria II.

Em termos de institutos tecnológicos, a Comissão Nacional de Energia Nuclear mantém diversos centros que desenvolvem pesquisas nas linhas de reatores e aplicações de energia nuclear: o Ipen (USP), o IEN (no campus da UFRJ) e

o CDTN (Rio de Janeiro). Mantém, ainda, o IRD, na área de radioproteção e dosimetria.

Na linha de aplicações, destaca-se a atuação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena), que foi incorporado à USP.

Engenharia naval e oceânica

O ensino de engenharia naval no Brasil teve início em 1957, na USP, com a criação do curso de graduação na Escola Politécnica. Dois anos mais tarde, foi criado um curso semelhante na Escola de Engenharia da UFRJ. A pós-graduação se iniciou em 1967, quando a UFRJ implantou o mestrado, seguida pela USP, em 1970.

Em 1990/91, existiam apenas dois cursos de pós-graduação, ambos consolidados no nível de mestrado. O doutorado foi implantado na UFRJ/Coppe em 1989, e embora o da USP date de 1983, até hoje ainda não está plenamente consolidado.

A produção científica em termos de publicações em revistas internacionais foi quase nula no biênio analisado. O índice de produção total foi de 2,37 trabalhos por docente-doutor, ligeiramente inferior à média das engenharias. As metas físicas e o orçamento para 1993 elaborados pelo comitê assessor do CNPq estão incluídos na engenharia mecânica e aeroespacial.

11. Conclusões

Apesar das dificuldades em obter dados e informações sobre o estado das diferentes subáreas da engenharia, a análise detalhada das chamadas grandes áreas — química, elétrica (e biomédica), civil (e sanitária) e mecânica (e aeroespacial), metalurgia (minas e materiais) —, assim como das outras subáreas na seção 10, permite uma visão das engenharias cujos principais aspectos são resumidos a seguir.

• Os investimentos nacionais na formação tanto de profissionais quanto de pesquisadores estão mais direcionados a outras áreas de conhecimento — por exemplo, ciências humanas e sociais — do que às engenharias. Este aspecto fica ainda mais evidente nas comparações feitas nas seções 2 e 3 (subseções A formação de engenheiros e A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento, respectivamente) com relação ao peso das engenharias em outros países.

• O quadro geral do conjunto das áreas indica que o país logrou estabelecer, no prazo relativamente curto de cerca de 30 anos, um respeitável sistema de pós-graduação e pesquisa.

• Enquanto a graduação registra uma distorção, com uma excessiva concentração de profissionais na engenharia civil, na pós-graduação houve uma distribuição mais uniforme e alinhada com as necessidades dos setores de pesquisa e de produção.

• As diversas subáreas da engenharia vêm seguindo processos distintos de evolução e consolidação, com a presença de casos de inegável sucesso e qualidade internacional de uns poucos grupos, ao lado de casos de grupos que permanecem incipientes, apesar de criados há algumas décadas.

• A produção científica vem evoluindo satisfatoriamente, embora de forma desigual nas diferentes subáreas, identificando-se uma preocupação crescente com a publicação de trabalhos em revistas internacionais. Este aspecto denota, de um lado, uma inserção mais incisiva dos grupos nacionais no cenário internacional, mas, de outro, tem suscitado alguma preocupação quanto à valorização de outros itens fundamentais, como a própria formação de recursos humanos e a realização de projetos de cunho tecnológico.

• Conforme discutido na seção 3 (subseção A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento), é conveniente que as agências de fomento adotem um indicador baseado no valor dos contratos de consultoria e convênios, que servirá para identificar a freqüência de transferência de conhecimentos gerados nas áreas tecnológicas para o setor produtivo e deverá ser utilizado de forma complementar aos indicadores tradicionais.

• As propostas de custeio apresentadas pelos diversos comitês assessores do CNPq apontam para a necessidade de investimentos da ordem de US$20,5 mil por docente-doutor por ano. Tendo em vista a situação de extrema dificuldade que quase todos os centros de pós-graduação vêm atravessando nos últimos anos, esse investimento teria retorno quase imediato e ajudaria a recuperar parte dos equipamentos e laboratórios que estão sendo sucateados pela falta de recursos.

• Considerando o valor acima e o número total de 1.635 docentes-doutores nas engenharias, o custeio anual necessário para estimular o sistema de pós-graduação e pesquisa na área e retomar um ritmo satisfatório de atividade seria da ordem de US$33 milhões.

• É importante considerar que as propostas de custeio analisadas se basearam em metas físicas estimadas pelos comitês, e não na alocação de recursos entre as diversas modalidades de apoio. Portanto, os dados não podem ser tomados como uma base definitiva para a alocação de recursos, conforme será exemplificado a seguir.

• Os comitês das grandes áreas da engenharia (seções 4 e 9) recomendam a concessão, pelo CNPq, de um total de 420 bolsas de doutorado no exterior. Tomando como exemplo a engenharia elétrica, o CA recomendou a concessão de 100 bolsas.

• O custo médio anual do estudante de doutorado no exterior é da ordem de US$25 mil, bem superior ao custo médio por docente-doutor mencionado, de US$20,5 mil. Dados recentes divulgados pela UFRJ/Coppe (Coppe, 1993) apontam para um custo médio por aluno de pós-graduação de apenas US$5,5 mil, o equivalente a menos de 20% do custo de um bolsista no exterior.

• O custo total anual das 420 bolsas de doutorado no exterior recomendadas para as engenharias é, portanto, da ordem de US$10,5 milhões, sem considerar o apoio de outras agências.

• Embora seja inegável a necessidade de treinamento no exterior, a atual carência de recursos em praticamente todos os grupos de pesquisa (com a possível exceção de São Paulo, graças à atuação da Fapesp) leva a questionar se o programa de bolsas no exterior deve ser mantido nos níveis atuais. Caso fosse destinado um valor global a cada comitê assessor, com ampla liberdade de definição dos itens a serem apoiados, os resultados seriam bem diversos daqueles analisados neste trabalho, configurando um interessante exercício de alocação de recursos.

• A questão da destinação de parte dos recursos das bolsas no exterior para grupos selecionados no país, capazes de absorver alunos de doutorado, chegou a ser analisada no âmbito do CTC da Capes em 1992. Suspeita-se que essa política não tenha sido implantada em função do receio da agência de perder recursos após o primeiro ano de aplicação no item de custeio, logo não associado a "pessoal".

Em conclusão, o espectro de atuação no país abrange praticamente todas as subáreas das engenharias, embora tenham sido detectadas carências importantes nos seguintes aspectos:

• número ainda insuficiente de pesquisadores ativos em linhas de pesquisa estrategicamente importantes;

• dificuldades na manutenção de um fluxo contínuo de recursos, com repercussão direta na consolidação de laboratórios e linhas de pesquisa;

• falta de interesse do setor produtivo (excetuando-se, em algumas áreas, as empresas estatais) em investimentos de P&D.

Apesar das enormes dificuldades enfrentadas, os investimentos no sistema de pós-graduação e pesquisa nas engenharias, realizados nas últimas décadas,

vêm trazendo benefícios indiscutíveis para a sociedade como um todo, chegando mesmo a criar condições, em alguns setores, para uma redefinição das bases de intercâmbio tecnológico com países mais desenvolvidos (Carneiro Jr. & Bartholo, 1984).

Referências bibliográficas

Aidar, J. S. & Cytrynorwicz, R. Tradição de ensino no rumo da tecnologia do século XXI. *Revista da Escola Politécnica* (208):17-21, jan./abr. 1993.

Carneiro Jr., S. The graduate school of engineering — Coppe: analysis of its evolution and present status. In: IBM-SAIS Seminar on Human Resources for Technological Development in Brazil. Washington, D.C., The Johns Hopkins University, 1990.

——— & Bartholo, R. S. Post-graduate engineering education in Brazil: a case study. In: *World Conference on Engineering and Engineering Technology Education*. Cologne, 1984.

Carvalho, J. C. M. Atividade científica. In: *Atlas cultural do Brasil*. MEC/Fename, 1972. p. 137-47.

Coppe. *Momento Coppe*, *1*(6), set. 1993.

Danna, F. L.; Iida, I. & Vieira, R. C. C. *Perfil do engenheiro no século XXI*. Abenge/Confea, set. 1991.

Iida, I. & Rocha Neto, I. O perfil da engenharia no Brasil. Brasília, *Educação Brasileira*, *12*(25):151-62, 2º sem. 1990.

Kelly, Celso. O processo educacional. In: *Atlas cultural do Brasil*, MEC/Fename, 1972. p. 151-67.

Nussenzweig, M. *Boletim da Sociedade Brasileira de Automática*, abr. 1993.

Seplan/CNPq. *Avaliação e perspectivas 1982*. Brasília, Seplan/CNPq, 1983. v. 4, Engenharias.

Vieira, R. C. C. *Formação tecnológica para o desenvolvimento*. 1993. (Convênio SAE/Pnud — Bra/092/030.)